

# Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras

## Different blanching methods and their application in fruits and vegetables

Jaime Andrés Tigreros <sup>1</sup>, Sebastián Parra Londoño <sup>2</sup>, Jader Martínez Girón <sup>3</sup>, Luis Eduardo Ordoñez Santos <sup>4</sup>.

Instituto Técnico Agrícola ITA. Guadalajara de Buga, Valle del Cauca, Colombia. ✉ [ja.tigreros@ita.edu.co](mailto:ja.tigreros@ita.edu.co)

Sebastián Parra Londoño. Instituto Técnico Agrícola ITA. Guadalajara de Buga, Valle del Cauca, Colombia.

✉ [separra@ita.edu.co](mailto:separra@ita.edu.co)

Jader Martínez Girón. Universidad del Valle sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

✉ [jader.martinez@correounivalle.edu.co](mailto:jader.martinez@correounivalle.edu.co)

Luis Eduardo Ordoñez Santos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca Colombia.

✉ [leordonezs@unal.edu.co](mailto:leordonezs@unal.edu.co)

Recibido: 10/06/2021 Aceptado: 16/11/2021

**Resumen** El escaldado como pretratamiento en diversos procesos de transformación alimentaria en productos de consumo masivo ha demostrado ser eficaz tanto para garantizar la inocuidad como para mantener o incrementar los compuestos bioactivos. Las frutas y verduras poseen una gama de nutrientes, entre los que se destacan las fibras dietéticas, polifenoles, vitaminas C, A, B y E, carotenoides, potasio y hierro, entre otros. Aunque una matriz alimentaria es compleja, los productos resultantes de la transformación de estos alimentos pueden ver afectadas sus características sensoriales y nutricionales por una inadecuada aplicación del escaldado. Los objetivos de este artículo fueron revisar (1) los tipos de escaldado, (2) los propósitos del escaldado y (3) la evaluación de la efectividad del proceso de escaldado.

**Palabras clave:** antioxidantes; compuestos bioactivos; color; enzimas; frutas; verduras.

**Abstract** Blanching as a pretreatment in various food transformation processes in mass consumption products has proven to be effective both to guarantee safety and to maintain or increase bioactive compounds. Fruits and vegetables have a range of nutrients, including dietary fibers, polyphenols, vitamins C, A, B, and E, carotenoids, potassium, and iron, among others. Although a food matrix is complex, the sensory and nutritional characteristics of the resulting products from the transformation of these foods can be affected by an inadequate application of blanching. The objectives of this article were to review (1) types of scalding, (2) the purposes of scalding, and (3) the evaluation of the effectiveness of the scalding process.

**Keywords:** antioxidant; bioactive compounds; color; enzymes; fruits; vegetables.

---

## Introducción

La preocupación de las personas por llevar una vida saludable ha conducido a que se preste más atención a la dieta alimentaria, algo que tiempo atrás tenía poca relevancia. Numerosos estudios han demostrado que una dieta saludable puede ayudar a prevenir enfermedades no transmisibles (ENT), como las cardiovasculares, el cáncer y la diabetes (Block; Patterson; Subar, 1992; Weisburger, 1999). Conscientes de ello, entidades públicas y privadas en todo el mundo se dieron a la tarea de fomentar el consumo de frutas y verduras, ya que estas ofrecen nutrientes esenciales para el buen funcionamiento del organismo. Sin embargo, cuando son sometidas a procesos como el escaldado, el cual involucra elevadas temperaturas y tiempos prolongados, la calidad nutricional y sensorial pueden verse gravemente afectadas, debido a que la disponibilidad de compuestos bioactivos se reduce, ya que estas sustancias son termolábiles.

A nivel mundial, la malnutrición en todas sus formas afecta a una de cada tres personas (The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, 2017), y las enfermedades no transmisibles (ENT) relacionadas con la dieta son la principal causa de muerte en el mundo (Baker; Friel, 2014). La Organización Mundial para la Salud estima que aproximadamente de las 57 millones de muertes en el mundo ocurridas en el año 2008, 36 millones fueron a causa de enfermedades no transmisibles (Alwan, 2011), lo cual ocasiona un gran impacto tanto en la productividad, como en el aumento en el desembolso en atenciones médicas. En Colombia, la Organización Mundial para la Salud ([OMS], 2016) calcula que en el año 2016 murieron 211.400 personas a causa de la enfermedades no transmisibles. A lo largo de los años, se ha trabajado bastante para estimar el costo de las ENT, y simulaciones macroeconómicas sugieren una pérdida de producción acumulada de US \$ 47 billones en las próximas dos décadas (Bloom *et al.*, 2011).

Una alternativa de solución para empezar a disminuir la prevalencia de enfermedades como el cáncer, la diabetes y las cardiovasculares es incluir en la dieta alimentos que puedan brindarle al consumidor compuestos bioactivos que estén en la capacidad de mitigar daños a los cuales está expuesto el organismo humano. Este aumento de la demanda por alimentos nutritivos, y el crecimiento poblacional del mundo, condujo a que la producción mundial de frutas tropicales frescas aumentara, al pasar de 12.621.502 toneladas en el año 1994 a 24.184.510 toneladas en el año 2016, donde Asia es el mayor productor con el 68,2 %, seguido de África con el 17,8 %, América con el 8,6 %, Oceanía con el 3,6 % y Europa con el 1,9 % (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018). Colombia no es ajena a este crecimiento, y sigue la tendencia mundial, al pasar de 191.370 toneladas en el año 1994 a 588.583 toneladas en el año 2016, lo que la ha llevado a ser uno de los líderes en producción de frutas tropicales a nivel mundial (FAO, 2018).

Estas cifras han captado la atención de la comunidad científica, que ha sido llevada a ahondar en la búsqueda de estrategias que conduzcan a garantizar que los alimentos, tanto mínimamente procesados como los sometidos a transformaciones a nivel industrial, conserven en gran medida los nutrientes y características sensoriales de los alimentos frescos, además de eso, que sean inocuos y que tengan una vida útil prolongada. Los tratamientos térmicos más comunes que intervienen en un proceso de transformación alimentaria son la pasteurización, ultrapasteurización, esterilización, secado y escaldado, todas estas técnicas son altamente efectivas y se utilizan con el fin de lograr disminuir la actividad de agua, inactivar enzimas y eliminar microorganismos patógenos, sin embargo, presentan inconvenientes con respecto a la degradación del valor nutricional (como las pérdidas de vitaminas), altas demandas de energía y agua, así como la eliminación

de un mayor volumen de efluentes, lo que conlleva a un mayor costo e impacto ambiental (Xanthakis; Gogou; Taoukis; Ahrné, 2018).

Estudios realizados por (Lisiewska; Jacek; Skoczen-Stupska; Kmiecik, 2009) demostraron que los aminoácidos presentes en las coles de Bruselas disminuyeron de 2783 mg/100 g en muestras frescas a 2345 mg/100 g en las muestras escaldadas. Por otro lado, Lisiewska y Kmiecik (1996) informaron que, durante el procesamiento de brócoli y coliflor, las mayores pérdidas en el contenido de vitamina C ocurrieron durante el escaldado: en brócoli en un 41-42 % y en coliflor en un 28-32 %. Ismail, Marjan y Foong (2004) estudiaron el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido fenólico, y observaron que, entre los vegetales frescos y los tratados térmicamente, la col de pantano perdió la mayor cantidad de contenido fenólico (26 %), seguida de col (20 %), espinaca (14 %), chalotes (13 %) y col rizada (12 %), después de un escaldado de 1 minuto en agua hirviendo. También, Ordóñez-Santos, Martínez-Girón y Arias-Jaramillo (2017) observaron una disminución significativa en el contenido de ácido ascórbico (24,40 %) después de someter a pasteurización a 80 °C por 10 minutos al jugo de uchuva.

El escaldado es el tratamiento térmico que se utiliza previo al secado, apertización, liofilización, congelación, fritura y pelado de verduras y algunas frutas (Mafart, 1994, p. 139; Xiao *et al.*, 2017). Generalmente comprende temperaturas entre 70-100 °C y tiempos entre 1 y menos de 10 minutos (Fellow, 1994, p. 203; Xiao *et al.*, 2017).

Por otro lado, el escaldado con agua caliente es el método más utilizado comercialmente, ya que es sencillo de establecer y fácil de operar, sin embargo, si se realiza por un tiempo prolongado, da como resultado una pérdida considerable de nutrientes tales como carbohidratos, proteínas, minerales solubles en agua, vitaminas y azúcares, por lo que en general, después de una cierta cantidad de tiempo, el agua de escaldado

debe reponerse a medida que se satura con los nutrientes lixiviados de los productos (Xiao *et al.*, 2017; Mukherjee; Chattopadhyay, 2007; Lee, 1958).

En un escaldado típico, los productos se sumergen en agua caliente (70 a 100 °C) durante varios minutos. Luego, las muestras escaldadas se drenan y se enfrían antes de enviarlas a la siguiente operación de procesamiento. Actualmente, las investigaciones por este método se han enfocado en encontrar la temperatura y tiempo óptimos de escaldado a los cuales deben ser sometidas las diferentes frutas y verduras, para ello, se utilizan metodologías como la superficie de respuesta, en la cual se analiza la influencia de estos parámetros sobre los compuestos bioactivos y la enzima peroxidasa. Zheng y Lu (2011) estudiaron el efecto sobre la vitamina C y la peroxidasa al aplicar tres temperaturas de escaldado (70, 80 y 90 °C) a **espárragos**, y siguieron para ambos parámetros una cinética de primer orden.

Respecto al escaldado con vapor, de acuerdo con Xiao *et al.*, (2017), el vapor sobrecalentado se usa comúnmente como medio de calentamiento para el escaldado debido a su alto contenido de entalpía. Durante la etapa inicial del escaldado con vapor, este se condensa en la superficie de los productos y una gran cantidad de calor latente se transfiere al material, porque la temperatura del producto es inferior a la del vapor. La temperatura de los productos aumenta gradualmente hasta alcanzar la temperatura crítica de las enzimas o la actividad de los organismos, después de lo cual se inactivan.

Actualmente, algunos investigadores buscan mejorar este método y aplican un proceso denominado “*Vacuum-Steam Pulsed Blanching*” (VSPB) o “Escaldado por pulsos de vapor al vacío”, el cual consiste en retirar, al inicio del tratamiento, por medio de una aspiradora, el aire frío que no favorece la transferencia de calor dentro y alrededor del material, lo que facilita la penetración del vapor de alta temperatura en los alimentos, lo que permite elevar rápidamente la temperatura, logrando así, la inactivación de las

enzimas en poco tiempo (Wang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022). Esta tecnología ha demostrado que, aplicada en productos como el jengibre, se logra inactivar por completo la enzima peroxidasa después de 4 ciclos de tratamiento con VSPB, además de conservar de manera significativa los compuestos bioactivos presentes en este producto Wang *et al.* (2022). También Wang *et al.* (2021) estudiaron la influencia del VSPB sobre la textura y velocidad de secado en la zanahoria, y encontraron que la aplicación de este tratamiento dio como resultado la despolimerización y degradación de las nanoestructuras de pectina, la destrucción del puente de calcio entre los polímeros de pectina, la disolución del medio y la degradación de la pared celular, que a su vez condujo a una disminución significativa en la dureza y masticabilidad de la zanahoria, además, este ablandamiento ocasionado por el cambio del estado de unión al agua, aceleró el proceso de secado de este alimento.

Por otro lado, otra variante a esta metodología que también se viene aplicando es el “*High-humidity hot air impingement blanching*” (HHAIB), o el escaldado por impacto de aire caliente con alta humedad, en el cual el flujo de aire caliente de alta humedad incide en la superficie del producto a alta velocidad para lograr una alta tasa de transferencia de calor. Se ha observado que el coeficiente de transferencia de calor de HHAIB en la etapa inicial es de aproximadamente  $1400 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  a  $14,4 \text{ m/s}$ ,  $135 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $35 \%$ , como su velocidad, temperatura y humedad relativa, respectivamente. Bai, Sun, Xiao, Mujumdar y Gao (2013) encontraron que al aplicar HHAIB a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , una velocidad de  $15 \text{ m/s}$  y un tiempo de 90 segundos a la uva, se obtienen las condiciones más favorables en términos de inactivación de la enzima polifenoloxidasa, comportamiento de secado y calidad de color del producto seco, esto se debe, en gran parte, a que durante HHAIB, la diferencia de presión entre el interior y la superficie del material da como resultado la formación de microgrietas que alteran el tejido y la estructura del material. Estas alteraciones impiden la

resistencia a la difusión de la humedad, que resulta en una rápida eliminación de esta y una reducción de la exposición del material al calor. Además, el calentamiento tiene lugar en ausencia de un medio líquido, lo que elimina la posibilidad de pérdidas de nutrientes solubles en agua y aguas residuales (Liu *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020). Wang *et al.* (2020) encontraron que, para el pimiento rojo, la temperatura de escaldado de  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , la humedad relativa del  $40 \%$  y el tiempo de escaldado de 38 segundos fueron las condiciones HHAIB más favorables para la inactivación de la enzima peroxidasa y la conservación de los compuestos bioactivos.

Respecto al escaldado asistido por microondas, estas son ondas electromagnéticas con una frecuencia que varía de  $300 \text{ MHz}$  a  $300 \text{ GHz}$  (Regier; Knoerzer; Schubert, 2017). Los sistemas están generalmente restringidos a ciertas frecuencias, dentro de la llamada banda industrial, científica y médica (ICM), y por ciertos niveles máximos de emisión y límites de exposición para humanos (Schubert; Regier, 2005). Las frecuencias más comúnmente utilizadas para aplicaciones industriales son  $896 \text{ MHz}$  (en el Reino Unido),  $915 \text{ MHz}$  (en las Américas y China) y  $2450 \text{ MHz}$ , para usos comerciales, domésticos e industriales en la mayoría de los países (Atuonwu; Tassou, 2018).

Algunos aspectos de la teoría electromagnética se pueden describir mediante las ecuaciones de Maxwell, las cuales se encuentran ampliamente detalladas en el capítulo uno del libro de Regier *et al.* (2017, pp. 3-13). De acuerdo con (Mafart, 1994, p. 69), los equipos de microondas están compuestos por tres elementos principales, el primero es un emisor (magnetron o klistron), el cual, mediante tubos emisores de ondas, transforma la corriente eléctrica de la red en radiación microondas; el segundo elemento es el conductor de ondas, el cual consiste en un simple tubo metálico de sección rectangular que refleja las ondas sobre sus paredes; y el tercer y último elemento corresponde al aplicador, el cual también es conocido de forma más general como el recinto de tratamiento

térmico, y de acuerdo con su concepción, puede concentrar la energía sobre un eje (aplicador de cavidad monoonda) o puede distribuirla lo más uniformemente posible (aplicador de cavidad multionda). El calentamiento por microondas de los materiales alimenticios se produce debido a que un campo eléctrico oscilante incide sobre las moléculas dipolares de agua, estas se polarizan permanentemente e intentan realinearse en la dirección del campo eléctrico, pero debido a la alta frecuencia del campo eléctrico, esta realineación ocurre un millón de veces por segundo, lo que provoca la fricción interna de las moléculas, ocasionando el calentamiento volumétrico del material (Chandrasekaran; Ramanathan; Basak, 2013).

También, Datta y Davidson (2000) mencionaron que el calentamiento por microondas puede ocurrir debido a la migración oscilatoria de iones en el alimento, lo que genera calor en presencia de un campo eléctrico oscilante de alta frecuencia. Entre los factores más importantes que afectan el calentamiento por microondas y su distribución de calor, se encuentran las propiedades dieléctricas y la potencia absorbida por los alimentos. En primer lugar, las propiedades dieléctricas de los materiales alimenticios están determinadas principalmente por su composición química y, en menor medida, por la estructura física (Chandrasekaran *et al.*, 2013). De acuerdo con Schubert y Regier (2005, p. 23), la capacidad de un material para convertir la energía de microondas en calor puede entenderse al conocer sus propiedades dieléctricas, que se describen mediante las siguientes relaciones:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad \text{Ecu. 1}$$

Donde:

$\varepsilon^*$ : permitividad relativa compleja

$\varepsilon'$ : constante dieléctrica

$\varepsilon''$ : pérdida dieléctrica

$j$ :  $\sqrt{-1}$

La parte real de la permitividad, denominada constante dieléctrica, significa la capacidad de almacenar energía eléctrica, y la parte imaginaria, denominada pérdida dieléctrica, significa la capacidad de convertir la energía eléctrica en calor.

La relación entre la pérdida dieléctrica y la constante dieléctrica viene dada por la tangente de pérdida y se expresa como:

$$\tan\delta = \frac{k''}{k'} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad \text{Ecu. 2}$$

Donde:

$\tan\delta$  : tangente de pérdida

$K'$ : constante dieléctrica relativa

$K''$ : pérdida dieléctrica relativa

Al mismo tiempo,  $K'$  y  $K''$  pueden quedar de la siguiente forma:

$$k' = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0} \quad \text{Ecu. 3} \quad k'' = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon_0} \quad \text{Ecu. 4}$$

Donde:

$\varepsilon_0$ : permitividad en el vacío ( $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

En segundo lugar, Mafart (1994, p. 69) menciona que la potencia absorbida por el alimento expuesto respecto a la unidad de volumen sigue la ley:

$$\dot{Q} = 55.6 E^2 f k'' 10^{-6} \text{ Wm}^{-3} \quad \text{Ecu. 5}$$

Donde:

$\dot{Q}$  : potencia térmica

$E$ : campo eléctrico del equipo ( $\text{Vm}^{-1}$ )

$f$ : frecuencia de las microondas

$K''$ : pérdida dieléctrica relativa

Por otra parte, Mafart, (1994, p. 72) aclara que, a potencias incidentes y a masas expuestas iguales, las propiedades dieléctricas del producto ya no intervienen en la velocidad de calentamiento de las microondas, solo interviene el calor específico del alimento, esto debido a que se ocasionan diferencias de factores de pérdida asociadas al agua, fracciones proteicas, lipídicas, etc., provocando un efecto de selección del calentamiento por microondas, además, el umbral a partir del cual la potencia del emisor de ondas resulta limitante, aumenta al aumentar el poder de absorción del substrato expuesto, lo que hace que, indirecta e implícitamente, las propiedades dieléctricas de los alimentos permanezcan de forma camuflada en el factor  $Q_i$ , potencia del emisor. Por lo tanto, cuando la práctica totalidad de la energía suministrada es absorbida, se puede escribir:

$$Q = \dot{Q}_i t = mCp(T - T_0) \quad \text{Ecu. 6}$$

Donde:

$Q$ : cantidad de calor

$Q_i$ : potencia térmica incidente

$m$  : masa del producto expuesto

$Cp$ : calor específico del producto

$T$ : temperatura inicial del producto

$T_0$ : temperatura inicial del producto en el tiempo  $t$

Así pues, después de varios despejes matemáticos, se demuestra que la velocidad de calentamiento depende esencialmente de la potencia del emisor, de la masa del producto expuesto, así como del calor específico del producto.

$$\dot{T} = \frac{\dot{Q}_i - \dot{Q}_C}{mCp} \quad \text{Ecu. 7}$$

Donde:

$\dot{T}$  : velocidad de calentamiento

$Q_i$ : potencia térmica incidente

$\dot{Q}_C$ : potencia térmica perdida por convección

$m$ : masa del producto expuesto

$Cp$ : calor específico del producto

Un estudio realizado por Xanthakis *et al.* (2018) comparó el impacto en piezas de mango del escaldado por microondas (120 W por 5 minutos y 100 W por 12 minutos) y el escaldo con agua caliente (90 °C por 5 minutos y 70 °C por 12 minutos) sobre ácido ascórbico, oxidasa y vitamina C, mostrando un mayor grado de inactivación de la enzima y un mayor grado de retención de la vitamina con ambos tratamientos de microondas. Otra investigación (Nakilcioglu-Taş; Otleş, 2018) estudió los efectos que puede tener el microondas sobre los compuestos bioactivos, el contenido de humedad y la capacidad antioxidante de la col de Bruselas, analizando cada 0,75 min hasta 3,75 min para 700 W, hasta 4,5 min para 600 W y hasta 5,25 min para 460 W, donde se encontró que este tratamiento causaba reducciones significativas en todas las variables de respuestas. Sin embargo, a una potencia de 460 W se pueden reducir las pérdidas de los compuestos estudiados.

Otro estudio (Liburdi; Benucci; Esti, 2019) tuvo como objetivo evaluar la eficacia del escaldado por microondas en términos de inactivación de la peroxidasa, mediante la aplicación de varias condiciones de proceso (50 a 350 W entre 45 a 120 s) a diferentes vegetales (papas, col rizada y col blanca), imitando la geometría más común. Los resultados encontrados muestran que la inactivación de peroxidasa más alta fue de 160 W durante 75 s en muestras con forma de cuboide, en muestras cilíndricas fue de 160 W durante 120 s, y en muestras de cubos, el óptimo fue de 160 W durante 75 s y 350 W durante 45 s.

Otros autores (Behera; Rayaguru; Nayak, 2017) llevaron a cabo una investigación donde se quería identificar un método de escaldado adecuado (escaldado con agua caliente y escaldado con microondas) para diferentes espesores de corte (5, 10 y 15 mm) de la fruta estrella (*Averrhoa carambola* L.), que garantizara

la inactivación de la enzima peroxidasa y la máxima retención de ácido ascórbico y ácido oxálico. Se encontró que los parámetros óptimos de escaldados donde lograban retener una mayor cantidad de ácido ascórbico y ácido oxálico eran: nivel de potencia 600W con un tiempo de 30 segundos para un grosor de corte de 15 mm y para un nivel de potencia de 480W un tiempo de 50 y 60 segundos, con un grosor de corte de 5 y 10 mm. Dorantes-Alvarez, Jaramillo-Flores, González, Martínez y Parada (2011) evaluaron los cambios en la actividad antioxidante del jalapeño (*Capsicum annuum*) cuando se trata con microondas para inactivar polifenoloxidasas. Los jalapeños frescos enteros (85 % de humedad) se mezclaron hasta obtener una pasta. Se colocaron porciones de diez gramos en un recipiente de vidrio y se procesaron en un horno de microondas hasta que se alcanzó la inactivación de la polifenoloxidasas. La densidad de energía para lograr la inactivación completa de la enzima fue de 0,38 KJ/g. Los resultados mostraron que los compuestos fenólicos se redujeron de 9,6 a 7,6 mg / g de pimientos (con base en el peso seco), y la actividad antioxidante se incrementó de 29 a 42  $\mu$ M de Trolox/g de pimientos (en peso seco) con el escaldado térmico por microondas durante 20 segundos. Con estos resultados, los autores concluyeron que el escaldado de chiles jalapeños con microondas puede inducir la formación de derivados de compuestos fenólicos con una actividad antioxidante mejorada.

Por otro lado, Palma-Orozco, Sampedro, Ortiz-Moreno y Nájera (2012) probaron diferentes potencias y tiempos (W/s) 90/30, 90/165, 90/300, 590/30, 590/165, 590/300, 937/30, 937/165 y 937/300, buscando estudiar los efectos del escaldado con microondas en la actividad de la polifenoloxidasas, en el color y en la microestructura de la pulpa de mamey (*Pouteria sapota*), donde se encontró que, a una potencia de 937 W y 165 segundos ( $E_{opt} = 0,51$  kJ/g), se inactivaba la enzima, se favorecería la conservación del color y resultó en un daño insignificante en la microestructura de la pulpa de mamey. También, Huang, Sheng, Yang y Hu

(2007) investigaron los efectos del calentamiento por microondas (600 W por 2 minutos) en los polifenoles, clorofila y vitamina C en el té verde de primavera y otoño, donde encontraron un aumento en el contenido de vitamina C (4,74 g / kg y 5,51 g kg, respectivamente) y en la clorofila. Oszmiański, Wolniak, Wojdyło y Wawer (2008) encontraron que el escaldado de puré de manzana por microondas a 80 °C por 2 minutos mantuvo un mayor contenido de sustancias fenólicas como procianidinas, (-) epicatequina y ácido clorogénico, en comparación con la muestra escaldada en agua a 90 °C durante 4 minutos.

## Propósitos del escaldado

### Inactivación de la actividad enzimática

El objetivo principal del escaldado es inactivar las enzimas responsables de las reacciones de deterioro que contribuyen a los sabores, olores y colores desagradables, además, ocasionan una textura indeseable y contribuyen a la descomposición de nutrientes (Xiao *et al.*, 2017). De acuerdo con lo expuesto por (Badui, 2006, p. 300), las enzimas pueden catalizar diferentes reacciones químicas, entre las que se destacan las siguientes:

1. Oxidorreductasas: catalizan reacciones de oxidorreducción. En este grupo se incluyen las deshidrogenasas, oxidasas, oxigenasas y peroxidasas.
2. Transferasas: promueven la transferencia de distintos grupos químicos entre una molécula donadora y una aceptora. Dentro de las más estudiadas se incluye a las glicosiltransferasas, aminotransferasas y fosfotransferasas.
3. Hidrolasas: llevan a cabo la ruptura de enlaces covalentes con la introducción de una molécula de agua. Las enzimas hidrolíticas (que incluyen a las amilasas,

esterasas, glicosidasas, lipasas y proteasas, entre otras) son las que se utilizan, con mayor frecuencia, como aditivos en la industria alimentaria.

4. Liasas: rompen enlaces para la eliminación de un determinado grupo químico del sustrato y forman dobles ligaduras sin la introducción de moléculas de agua. Entre ellas se encuentran las aldolasas, descarboxilasas, deshidratasas y pectina liasa.
5. Isomerasas: catalizan el rearrreglo espacial de grupos del sustrato sin modificar su composición química, son epimerasas y racemasas.
6. Ligasas: promueven la unión covalente de dos moléculas acopladas con la ruptura de un enlace pirofosfato proveniente de ATP, UTP o CTP, como fuente de energía. El término ligasa es sinónimo de sintetasa.

### Eliminar el aire y otros gases ocultos en los tejidos intercelulares

Durante el calentamiento por escaldado, los tejidos liberan gases (nitrógeno y oxígeno), los cuales deben ser expulsados antes del envasado, dado que su presencia ocasionaría una sobrepresión interna, con riesgos de deformación de los recipientes que contienen el producto (Mafart, 1994, p. 140). Además, la eliminación del oxígeno del tejido reduce la oxidación del producto y la corrosión de los materiales utilizados para la fabricación de latas (Xiao *et al.*, 2017).

### Mejorar las tasas de deshidratación del producto

Para algunas frutas, como las ciruelas y las uvas, una capa cerosa natural cubre las superficies, dificultando la transferencia de humedad durante el secado. El escaldado aumenta las tasas de secado y deshidratación al cambiar las propiedades físicas de los

productos, debido a que la alta temperatura ocasiona una mayor destrucción de la pared celular, lo que a su vez aumenta la tasa de eliminación de humedad (Severini; Baiano; De Pilli; Carbone; Derossi, 2005).

### Eliminación de residuos de plaguicidas y constituyentes tóxicos

Las enfermedades que pueden llegar a sufrir diferentes cultivos ocasionadas por los virus, hongos, bacterias y nematodos, han llevado a los agricultores a utilizar diferentes métodos de control, entre los que se encuentra el químico, esto con el fin de obtener un mejor rendimiento en la producción. De acuerdo con Xiao *et al.* (2017), estos residuos de pesticidas en productos agrícolas amenazan la salud humana con efectos tóxicos que varían desde enfermedades leves, como dolores de cabeza y náuseas, hasta enfermedades graves como el cáncer. Un estudio realizado por Bonnechère *et al.* (2012) mostró que se redujo la cantidad de 5 plaguicidas en un 10 a un 70 % en el escaldado con agua caliente, y en un 39 % en el escaldado por microondas de las espinacas. Esta reducción podría deberse a la degradación por temperatura de la sustancia tóxica o al lavado y lixiviación de las toxinas en el agua escaldadora (Xiao *et al.*, 2017).

### Disminución de la carga microbiana

Aunque existen microorganismos termófilos, el escaldado ha demostrado su actuación en la destrucción de microorganismos contaminantes, principalmente mohos, levaduras y algunas bacterias que se encuentran en la superficie de los alimentos. De acuerdo con Frazier y Westhoff (1993), la destrucción de los microorganismos es consecuencia de la desnaturalización de las proteínas por la acción del calor, y sobre todo de la inactivación de las enzimas que requieren para desarrollar sus actividades metabólicas.

Un estudio realizado por Phungamngoen, Chiewchan y Devahastin (2013) mostró una reducción de aproximadamente 3,8 log UFC/g después de aplicar escaldado con agua caliente



para eliminar la *Salmonella* adherida a muestras de col, esto debido a que la alta temperatura ocasiona un mayor grado de lesión celular bacteriana. Otra investigación encontró que el escaldado por microondas podría lograr una reducción de 4 a 5 ciclos logarítmicos en *Salmonella typhimurium* en chiles jalapeños frescos y en cilantro (De La Vega-Miranda; Santiesteban-López; López-Malo; Sosa-Morales, 2012). Por otro lado, Jabbar *et al.* (2014) encontraron una disminución significativa en levaduras y mohos cultivados en el jugo de zanahoria después de escaldarse con el tratamiento combinado con agua caliente y ultrasonido, esto como resultado de las cavitaciones y las implosiones de burbujas durante los tratamientos de sonicación y la producción de ondas de choque y radicales hidroxilos, los cuales causan la inactivación de las especies biológicas.

### Pelado de productos

Una de las operaciones más tediosas, laboriosas y que consume mayor tiempo a la hora de procesar una fruta, es el pelado. Aunque existan industrias que aplican métodos de pelado mecánicos y químicos, a menudo, el primero causa una mayor pérdida debido a las dificultades para controlar la profundidad del pelado ocasionado por las diferentes formas y tamaños de las frutas, y el segundo tiene consideraciones de salud y seguridad, además, produce aguas residuales contaminadas con productos químicos y orgánicos que siempre son costosos de tratar y eliminar (Xiao *et al.*, 2017). Por tal motivo, el escaldado de frutas ofrece a las empresas procesadoras de alimentos la facilidad de retirar la piel de los productos de una manera más rápida, esto debido a que, durante el calentamiento de la fruta, ocurre una contracción volumétrica ocasionada por el ablandamiento del tejido vegetal, lo que conlleva a facilitar la operación de pelado.

### Aumento de la eficiencia de extracción de compuestos bioactivos

Aunque muchos de los compuestos bioactivos se encuentran en forma soluble en las vacuolas de las células o están unidos a la hemicelulosa, celulosa, pectina y trazas de lignina de la pared celular, el escaldado térmico puede causar la ruptura de las membranas en los tejidos de las células, alterando la porosidad, lo que podría facilitar la liberación de estos compuestos (Tomadoni; Cassani; Viacava; Moreira; Ponce, 2017). De acuerdo con lo anterior, varios estudios han demostrado el aumento de compuestos antioxidantes en los alimentos después de ser sometidos a diferentes procesos de escaldado, tal es el caso del brócoli, donde el escaldado con agua y vapor dieron como resultado un aumento del  $\beta$ -caroteno, la luteína y la vitamina E en comparación con uno fresco (Gliszczyńska-Swigoł *et al.*, 2006).

Esto se debe a que los tratamientos térmicos afectan la pared celular y las barreras cromoplásticas del alimento, ocasionando una desnaturalización de las proteínas, lo que en consecuencia facilita la liberación de carotenoides (Verkempinck ; Pallares ; Hendrickx; Grauwet, 2020). Por otro lado, Stamatopoulos, Katsoyannos, Chatzilazarou y Konteles (2012) observaron que el contenido de oleuropeína, un biofenol presente en los extractos de hojas de olivo, puede aumentar de 25 a 35 veces mediante el proceso de escaldado con vapor y en 8 veces mediante el proceso de escaldado con agua caliente. Del mismo modo, Bascaya y Demirdoven (2015) estudiaron los efectos del escaldado con microondas y convencional en rodajas de zanahoria, y encontraron que, en ambos casos, los resultados de los carotenoides superaban al producto que no había recibido ningún tratamiento, arrojando como resultado 1,4711, 1.4559 y 1,2744 mg/kg de  $\beta$ -caroteno, respectivamente. Otro estudio realizado por Rossi *et al.* (2003) encontró que los zumos obtenidos de las frutas de arándanos aumentaban su contenido en compuestos

fenólicos cuando eran sometidos a un proceso de escaldado con vapor, esto en gran parte debido a la inactivación de enzimas que degradan los compuestos bioactivos.

## Evaluación de la efectividad del proceso de escaldado

### Actividad de las enzimas peroxidasas y polifenoloxidasas

La efectividad del escaldado generalmente se juzga por el grado de inactivación de las enzimas peroxidasas y polifenoloxidasas, ya que estas se pueden medir fácilmente en comparación con otras enzimas (Xiao *et al.*, 2017). Las peroxidasas poseen alta estabilidad térmica y representan una familia que contiene un grupo hemo que cataliza la oxidación de una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos en la presencia de peróxidos, tales como  $H_2O_2$  (Roopa; Mantelingu; Rangappa, 2016; Tao; Wang; Luo; Yan, 2018). Por otro lado, las polifenoloxidasas poseen cuatro átomos de cobre por molécula y sitios de unión para dos compuestos aromáticos y oxígeno, además, catalizan la hidroxilación de monofenoles (como tirosina) a o-difenoles y la oxidación de o-difenoles a o-quinonas (Tao; Yao; Qin; Shen, 2013). Todas estas condiciones son las que contribuyen a que se produzcan cambios sensoriales y nutricionales indeseables en los alimentos, por lo que una elección apropiada de tiempo y temperatura de procesamiento térmico puede resultar útil para el diseño de métodos óptimos (Tao *et al.*, 2018).

### El ácido ascórbico (AA) como indicador para evaluar la pérdida de nutrientes durante el escaldado

Dado que los humanos carecen de una de las enzimas finales en la biosíntesis de la vitamina C o ácido ascórbico (AA), la mejor forma de obtenerla es mediante la ingesta de frutas, ya que son una buena fuente de esta sustancia, pero tienen la desventaja de ser un nutriente inestable

a las altas temperaturas, ya que ha demostrado inducir una rápida degradación, por lo que en ocasiones se usa como un buen indicador para la conservación de otros nutrientes después de realizar el escaldado (Verbeyst; Bogaerts; Van der Plancken; Hendrickx; Van Loey, 2013). Este compuesto puede oxidarse de manera aerobia reversible a ácido deshidroascórbico (DHAA), sin perder la funcionalidad de la vitamina C, luego, la degradación adicional de DHAA a, por ejemplo, ácido 2,3-dicetogulónico (DKG), da como resultado la pérdida de actividad biológica (Verbeyst *et al.*, 2013). Estas reacciones de conversión están influenciadas por el pH, la temperatura, la presencia de oxígeno y de iones metálicos (Uddin; Hawlader; Zhou, 2001). Estudios llevados a cabo por Agüero, Ansorena, Roura y del Valle (2008) demostraron que la pérdida de ácido ascórbico durante el escaldado con agua caliente depende en gran medida de la temperatura y el tiempo de escaldado, por lo que estudiaron la influencia de este tratamiento en la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch), y pudieron observar que, en los procesos más largos (22 min), a temperaturas más bajas (60 °C) se produjo una retención de ácido ascórbico del 25 %, mientras que en los procesos más cortos (0,13 min), a temperaturas más altas (90 °C), la retención de ácido ascórbico llegó a ser del 72 %, aproximadamente. Del mismo modo, Lee, Choi, Jeong, Lee y Sung (2018) estudiaron los efectos del escaldado con agua, vapor y microondas sobre la vitamina C del brócoli, espinaca, papas, zucchini, zanahoria, remolacha y papa dulce, donde se encontraron los mejores porcentajes de retención en el tratamiento con microondas, y se obtuvieron los siguientes resultados: 112,76, 91,10, 76,86, 92,73, 92,02, 67,64 y 100,21, respectivamente.

### El color como indicador del cambio de calidad del producto durante el escaldado

El color se debe a un grupo molecular específico (cromóforo) que absorbe energía y, como consecuencia, se produce la excitación de

un electrón de orbitales externos con mayor energía; la energía no absorbida es reflejada, refractada y detectada por los ojos, donde se generan los impulsos y se envían al cerebro, y luego se interpretan como color (Hurtado; Morales; González-Miret; Escudero-Gilete; Heredia, 2009). Los receptores sensoriales del cuerpo humano como el tacto, vista y olfato son, quizás, los primeros responsables en la evaluación de calidad de un producto alimenticio. Precisamente, el color es una de las características de apariencia más importantes, y si este es inaceptable, los otros dos factores principales de calidad, sabor y textura, probablemente no serán juzgados en absoluto (Francis, 1995; Xiao *et al.*, 2017). Como se explicó en el apartado anterior, en la degradación de este atributo, las enzimas naturales, incluidas las peroxidasa y las polifenoloxidasas, desempeñan un papel importante, ya que estas actúan sobre los compuestos fenólicos en presencia de oxígeno, lo que podría explicar el pardeamiento de las frutas.

Además, otros estudios (Ordóñez-Santos *et al.*, 2017; Marx; Stuparic; Schieber; Carle, 2003) han observado que los tratamientos térmicos promueven la isomerización de los carotenoides, generando un pequeño cambio hipocromático y un efecto hipocrómico, que generalmente muestra una banda de absorción adicional a 320-360 nm. Otro aspecto relacionado con la reducción de la intensidad del color en los alimentos puede estar relacionado con los compuestos fenólicos, ya que la hidroxilación por presencia de radicales hidroxilos del anillo aromático en las posiciones orto, meta y para en estos compuestos puede cambiar el área del espectro visible de las muestras estudiadas, pasando de amarillo a amarillo-rojo (Tomadoni *et al.*, 2017). Un estudio realizado por Gonçalves, Pinheiro, Abreu, Brandão y Silva (2010) evaluó la cinética de la inactivación de la peroxidasa, la degradación fenólica y los cambios de color y textura durante el tratamiento de escalado con agua caliente de la zanahoria (*Daucus carota* L.), y encontró que, a 90 °C durante 1,4 minutos,

retenía aproximadamente el 80 % de su contenido fenólico total inicial, e inactivaba el 90 % de la actividad inicial de la peroxidasa, pero los factores de color sufrían una degradación de  $L^*$  5,1 % (más oscuras),  $a^*$  33 % (menos rojas) y  $b^*$  25 % (menos amarilla) en relación con el producto fresco. Del mismo modo, Hadidi, Ibarz, Conde y Pagan (2019) estudiaron el efecto del escaldado con vapor en la actividad enzimática, el color y la degradación de las proteínas en la alfalfa (*Medicago sativa*), y observaron que las mejores condiciones se daban al combinar un tiempo de vaporización de 4,36 min, un tamaño de partícula sin corte de 23 mm y un tiempo mínimo entre cosecha y vaporización de 2 horas. En estas condiciones, se evitó la aparición del color oscuro, además, la actividad residual experimental de la polifenoloxidasa y peroxidasa fue de 1,31 % y 0 % respectivamente. Por todo lo anterior, queda claro que el color es un parámetro crítico para optimizar la condición de escaldado en los alimentos.

## Conclusiones

La evaluación paralela del efecto del escaldado sobre el color, las enzimas y compuestos bioactivos puede ser utilizada como una estrategia para el diseño de productos alimentarios con un alto valor agregado, inocuos, sostenibles, funcionales, nutritivos y competitivos en las frutas y verduras. Por otro lado, el escaldado por microondas es una tecnología que ofrece a la industria alimentaria ventajas frente a los métodos tradicionales, lo que poco a poco la ha convertido en un foco de estudio que ha permitido encontrar resultados alentadores en lo concerniente al medio ambiente.

## Referencias

- Agüero, M. V.; Ansorena, M. R.; Roura, S. I.; del Valle, C. E. (2008). Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 401-407. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.029>
- Alwan, A. (2011). *Global status report on noncommunicable diseases 2010*. Organización

- Mundial de la Salud. [https://doi.org/https://www.who.int/about/licensing/copyright\\_form/en/index.html](https://doi.org/https://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html)
- Atuonwu, J. C.; Tassou, S. A. (2018). Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. *Journal of Food Engineering*, 234, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.009>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ª ed.). Ciudad de México: Pearson.
- Bai, J.-D.; Sun, D.-W.; Xiao, H.-W.; Mujumdar, A. S.; Gao, Z.-J. (2013). Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 230-237. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.011>
- Baker, P.; Friel, S. (2014). Processed foods and the nutrition transition: Evidence from Asia. *Obesity Reviews*, 15(7), 564-577. <https://doi.org/10.1111/obr.12174>
- Bascaya, D.; Demirdoven, A. (2015). The effects of microwave blanching conditions on carrot slices: optimization and comparison. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2188-2196. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12463>
- Behera, G.; Rayaguru, K.; Nayak, P. K. (2017). Current Research in Nutrition and Food Science Effect of Microwave Blanching on Slice Thickness and Quality Analysis of Star Fruit. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 5(3), 274-281. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.12>
- Block, G.; Patterson, B.; Subar, A. (1992). Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer* 18(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/01635589209514201>
- Bloom, D.; Cafiero, E.; Jané-Llopis, E.; Abrahams-Gessel, S.; Bloom, L.; Fathima, S.; ... Weinstein, C. (2011). *The Global Economic Burden of Non-communicable Diseases*. Foro Económico Mundial. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Harvard\\_HEconomicBurdenNonCommunicableDiseases\\_2011.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Harvard_HEconomicBurdenNonCommunicableDiseases_2011.pdf)
- Bonnechère, A.; Hanot, V.; Jolie, R.; Hendrickx, M.; Bragard, C.; Bedoret, T.; Loco, J. (2012). Effect of household and industrial processing on levels of five pesticide residues and two degradation products in spinach. *Food Control*, 25, 397-406. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.010>
- Chandrasekaran, S.; Ramanathan, S.; Basak, T. (2013). Microwave food processing-A review. *Food Research International*, 52(1), 243-261. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1079258>
- Datta, A. K.; Davidson, P. M. (2000). Microwave and Radio Frequency Processing. *Journal of Food Science*, 65, 32-41. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2000.tb00616.x>
- De La Vega-Miranda, B.; Santiesteban-López, N. A.; López-Malo, A.; Sosa-Morales, M. E. (2012). Inactivation of Salmonella Typhimurium in fresh vegetables using water-assisted microwave heating. *Food Control*, 26(1), 19-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.002>
- Dorantes-Alvarez, L.; Jaramillo-Flores, E.; González, K.; Martínez, R.; Parada, L. (2011). Blanching peppers using microwaves. *Procedia Food Science*, 1, 178-183. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.028>
- Fellow, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, 6(3), 149-155. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00026-R](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00026-R)
- Frazier, W.; Westhoff, D. (1993). *Microbiología de los alimentos* (4ª ed.). Zaragoza: Acribia.
- Gliszczyńska-Świątło, A.; Ciska, E.; Pawlak-Lemańska, K.; Chmielewski, J.; Borkowski, T.; Tyrakowska, B. (2006). Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1088-1098. <https://doi.org/10.1080/02652030600887594>
- Gonçalves, E. M.; Pinheiro, J.; Abreu, M.; Brandão, T. R. S.; Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>
- Hadidi, M.; Ibarz, A.; Conde, J.; Pagan, J. (2019). Optimisation of steam blanching on enzymatic activity, color and protein degradation of alfalfa (*Medicago sativa*) to improve some quality characteristics of its edible protein. *Food Chemistry*, 276, 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.049>
- Huang, Y.; Sheng, J.; Yang, F.; Hu, Q. (2007). Effect of enzyme inactivation by microwave and oven heating on preservation quality of green tea. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 687-692. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.007>
- Hurtado, N. H.; Morales, A. L.; González-Miret, M. L.; Escudero-Gilete, M. L.; Heredia, F. J. (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 117(1), 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.081>
- Ismail, A.; Marjan, Z. M.; Foong, C. W. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, 87(4), 581-586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.010>
- Jabbar, S.; Abid, M.; Hu, B.; Wu, T.; Muhammad, M.; Lei, S.; ... Zeng, X. (2014). Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.007>
- Lee, F. (1958). The Blanching Process. *Advances in Food Research*, 8(C), 63-109. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60018-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60018-X)
- Lee, S.; Choi, Y.; Jeong, H. S.; Lee, J.; Sung, J. (2018). Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Advances in Food Research*, 27(2), 333-342. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0281-1>
- Liburdi, K.; Benucci, I.; Esti, M. (2019). Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shapes of vegetables. *LWT*, 99, 497-504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.029>
- Lisiewska, J.; Skoczen-Stupska, S.; Kmiecik, W. (2009). Content of amino acids and the quality of protein in Brussels sprouts, both raw and prepared for consumption. *International Journal*

- of Refrigeration, 32(2), 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2008.05.011>
- Lisiewska, Z.; Kmiecik, W. (1996). Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chemistry*, 57(2), 267-270. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00218-9](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00218-9)
- Liu, Z.-L.; Liu, J.; Bai, W.; Yang, J.; Wang, L.; Deng, L.; ... Xiao, H.-W. (2019). Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) and drying parameters on drying characteristics and quality of broccoli florets. *Drying Technology*, 37(10), 1251-1264.
- Mafart, P. (1994). *Ingeniería industrial alimentaria* (Vol. 1). Zaragoza: Acribia.
- Marx, M.; Stuparic, M.; Schieber, A.; Carle, R. (2003). Effects of thermal processing on trans-cis-isomerization of  $\beta$ -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*, 83, 609-617. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00255-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00255-3)
- Mukherjee, S.; Chattopadhyay, P. K. (2007). Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2005.09.001>
- Nakilcioglu-Taş, E.; Otleş, S. (2018). Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant capacity of Brussels sprouts during microwave processing. *International Journal of Food Properties*, 20(3), S2798-S2809. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1375944>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018). *Base de datos Faostat*. Recuperado de <http://faostat.fao.org>
- Organización Mundial de la Salud (2016). *Enfermedades no Transmisibles*. Recuperado de: [www.who.int/nmh/countries/col\\_en.pdf?ua=1](http://www.who.int/nmh/countries/col_en.pdf?ua=1)
- Ordóñez-Santos, L. E.; Martínez-Girón, J.; Arias-Jaramillo, M. E. (2017). Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry*, 233, 96-100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.114>
- Oszmiański, J.; Wolniak, M.; Wojdyło, A.; Wawer, I. (2008). Influence of apple purée preparation and storage on polyphenol contents and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 107(4), 1473-1484. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.003>
- Palma-Orozco, G.; Sampedro, J. G.; Ortiz-Moreno, A.; Nájera, H. (2012). In situ Inactivation of Polyphenol Oxidase in Mamey Fruit (Pouteria sapota) by Microwave Treatment. *Journal of Food Science*, 77(4), 359-365. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02632.x>
- Phungamngoen, C.; Chiewchan, N.; Devahastin, S. (2013). Effects of various pretreatments and drying methods on Salmonella resistance and physical properties of cabbage. *Journal of Food Engineering*, 115(2), 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2012.10.020>
- Regier, M.; Knoerzer, K.; Schubert, H. (2017). Introducing microwave-assisted processing of food. En M. Regier; K. Knoerzer; H. Schubert (Eds.), *The Microwave Processing of Foods* (2a ed., pp. 1-22). Nueva York, NY: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00001-2>
- Roopa, R. A.; Mantelingu, K.; Rangappa, K. S. (2016). Evaluation of peroxidase assay and effect of thermal blanching on sapota and fig fruits. *Chemical Data Collections*, 3-4, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2016.07.001>
- Rossi, M.; Giussani, E.; Morelli, R.; Lo Scalzo, R.; Nanic, R. C.; Torreggiani, D. (2003). Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Research International*, 36(9-10), 999-1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.07.002>
- Schubert, H.; Regier, M. (2005). Dielectric properties of foods. En J. Tang (Ed.), *The microwave processing of foods* (pp. 22-38). Sawston: Woodhead Publishing Limited.
- Severini, C.; Baiano, A.; De Pilli, T.; Carbone, B.; Derossi, A. (2005). Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 68, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.045>
- Stamatopoulos, K.; Katsoyannos, E.; Chatzilazarou, A.; Konteles, S. J. (2012). Improvement of oleuropein extractability by optimising steam blanching process as pre-treatment of olive leaf extraction via response surface methodology. *Food Chemistry*, 133(2), 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.038>
- Tao, Y. M.; Wang, S.; Luo, H. L.; Yan, W. W. (2018). Peroxidase from jackfruit: Purification, characterization and thermal inactivation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 898-905. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.007>
- Tao, Y. M.; Yao, L. Y.; Qin, Q. Y.; Shen, W. (2013). Purification and characterization of polyphenol oxidase from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(51), 12662-12669. <https://doi.org/10.1021/jf403828e>
- The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (2017). *Nutrition and food systems*. Recuperado de [www.fao.org/cfs/cfs-hlpe](http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe)
- Tomadoni, B.; Cassani, L.; Viacava, G.; Moreira, R.; Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), e12533. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12533>
- Uddin, M. S.; Hawlader, M. N. A.; Zhou, L. (2001). Drying Technology: kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. *Drying Technology*, 19(2), 437-446. <https://doi.org/10.1081/DRT-100102916>
- Verbeyst, L.; Bogaerts, R.; Van der Plancken, I.; Hendrickx, M.; Van Loey, A. (2013). Modelling of Vitamin C Degradation during Thermal and High-Pressure Treatments of Red Fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 6(4), 1015-1023. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0784-y>
- Verkempinck, S.; Pallares, A.; Hendrickx, M.; Grauwet, T. (2020). Processing as a tool to manage digestive barriers in plant-based foods: recent advances. *Current Opinion in Food Science*, 35, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.11.007>
- Wang, H.; Karim, M. A.; Vidyarthi, S.; Xie, L.; Liu, Z.-L.; Gao, L.; ... Xiao, H.-W. (2021). Vacuum-steam pulsed blanching (VSPB) softens texture and enhances drying rate of carrot by altering cellular structure, pectin polysaccharides and

- water state. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74, 102801. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102801>
- Wang, H.; Meng, J.-S.; Raghavan, G.S.V.; Orsat, V.; Yu, X.-L.; Liu, Z.-L.; ... Xiao, H.-W. (2022). Vacuum-steam pulsed blanching (VSPB) enhances drying quality, shortens the drying time of gingers by inactivating enzymes, altering texture, microstructure and ultrastructure. *LWT*, 154, 112714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112714>
- Wang, H.; Zhang, Q.; Mujumdar, A. S.; Fang, X.-M.; Wang, J.; Pei, Y.-P.; ... Xiao, H.-W. (2020). High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) efficiently inactivates enzymes, enhances extraction of phytochemicals and mitigates brown actions of chili pepper. *Food Control*, 111, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107050>
- Weisburger, J. H. (1999). Mechanisms of action of antioxidants as exemplified in vegetables, tomatoes and tea. *Food and Chemical Toxicology*, 37(9-10), 943-948. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00086-1)
- Xanthakis, E.; Gogou, E.; Taoukis, P.; Ahrné, L. (2018). Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.012>
- Xiao, H. W.; Pan, Z.; Deng, L. Z.; El-Mashad, H. M.; Yang, X. H.; Mujumdar, A. S.; ... Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 101-127. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>
- Zheng, H.; Lu, H. (2011). Effect of microwave pretreatment on the kinetics of ascorbic acid degradation and peroxidase inactivation in different parts of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during water blanching. *Food Chemistry*, 128, 1087-1093. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.130>